

5. Применение технологий 3D-печати и 3D-сканирования при изготовлении и ремонте сельскохозяйственной техники / Ю.В. Катаев, Ю.А. Гончарова, А.С. Свиридов, С.П. Тужилин // Техника и оборудование для села. – 2023. – № 1(307). – С. 34-38. – DOI 10.33267/2072-9642-2023-1-34-38.

6. Дорохов А.С., Свиридов А.С. Перспективы применения полимеров в деталях сельскохозяйственных машин // «Горячкинские чтения»: сб. II Междунар. науч.-практ. конф., посвященной 150-летию со дня рождения акад. В.П. Горячкина. 2019. С. 273-277.

7. Исследование ударной вязкости 3D-печатных образцов из ABS-пластика, пропитанных эпоксидной смолой / Ю.А. Гончарова, В.Э. Славкина, Р.Я. Казберов [и др.] // Материаловедение. – 2023. – № 9. – С. 36-40. – DOI 10.31044/1684-579X-2023-0-9-36-40.

УДК 621.791.76

## **СТАБИЛИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ЭЛЕКТРОКОНТАКТНОЙ ПРИВАРКИ С УЧЁТОМ ЭТАПНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ЗОНЫ СОЕДИНЕНИЯ**

*Серов Антон Вячеславович, доцент кафедры «Технологии обработки материалов», Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, av\_serov@vk.com*

***Аннотация:** рассмотрены особенности формирования сопротивления зоны соединения при различных способах электроконтактной сварки, а также электроконтактной приварке металлической ленты (ЭКП), на основании этого выделены их различия, и даны рекомендации по стабилизации процесса ЭКП обеспечивающие оптимальных условий формирования соединения.*

***Ключевые слова:** ЭКП, восстановление, упрочнение, ресурсосбережение.*

Способы контактной сварки сопротивлением включают в себя: контактную стыковую (КСС), контактную точечную (КТС), контактную шовную роликовую (КШС). Отличия перечисленных способов формирования соединения металлических материалов обычно описывается кинематическими параметрами, например скоростью и характером её изменения относительного перемещения заготовок (деталей) и инструментов – электродов. Однако с учётом имеющихся на данный момент средств механизации и автоматизации процессов, в том числе механических перемещений рабочих органов и узлов сварочных машин, такое описание не отражает качественных отличий перечисленных электроконтактных способов.

Развитием контактной шовной сварки является электроконтактная приварка (ЭКП). ЭКП позволяет получать функциональные покрытия, с целью повышения технико-экономических показателей изготовления и

восстановления деталей машин, в том числе за счёт использования металлических отходов [1-3].

Зона соединения при электроконтактных способах сварки состоит в самом простом случае из трёх зон: переходных сопротивлений электрод-присадочный материал и присадочный материал-основной (деталь), а также сопротивлений материалов между электродами [4-6].

Рассматриваемые зоны имеют сопротивления соответственно:  $R_{эл}$  - электрод-присадочный материал (деталь №1),  $R_{л}$  - присадочный материал (или деталь №1),  $R_{лд}$  – присадочный материал (деталь №1) – основной (деталь №2),  $R_{лд}$  – основной материал (деталь №2) и  $R_{эл}$  - основной материал (деталь №2) - электрод. При образовании соединения все переходные сопротивления исчезают и общее сопротивление складывается из сопротивления исходных материалов. Однако в ряде случаев при стыковой сварке, например звеньев цепей и последовательном проставлении точек при КТС, а также при КШС, необходимо также учитывать сопротивления шунтирования.

Авторы [7] исследовали изменения состояния (величины) сопротивления при ЭКП и выделяют три основных этапа и шесть состояний.

Первый этап – неустановившийся – момент приварки самой первой точки покрытия, при котором шунтирования тока через соседние точки не происходит. Он характеризуется двумя состояниями: до начала протекания импульса тока и после образования сварного соединения. Именно этот этап является единственным при контактной стыковой и точечной способах сварки, при этом состояние зоны соединения последовательно переходит из первого состояния во второе при образовании каждого следующего соединения, поскольку сопротивлением шунтирования в большинстве случаев можно пренебречь (рис. 1 а).

При втором (переходном) этапе формирования сопротивления зоны соединения в процессе ЭКП второй единичной площадки в первом ряду (первой единичной площадки второго и последующих рядов). На этом этапе ток будет шунтироваться через предыдущую единичную площадку, сопротивление которой должно стремиться к значению сопротивления первой единичной площадки после ее приварки. После ЭКП второй единичной площадки ее сопротивление будет стремиться к сопротивлению шунта, и оба этих сопротивления будут являться шунтирующими при приварке единичных площадок второго и последующих рядов. Таким образом контактная шовная сварка будет характеризоваться двумя описанными выше этапами формирования и четырьмя состояниями сопротивления зоны соединения, при этом два последних состояния второго этапа постоянно чередуются (рис. 1 б).

Установившимся третьим этапом ЭКП при этой схеме можно считать этап с первоначальным сопротивлением зоны соединения равным сопротивлению при параллельном подключении трёх шунтирующих точек и зоны контакта, а после завершения процесса соединения - равным сопротивлению шунтирования (рис. 1 в). При этом шунт через предыдущие единичные площадки будет уменьшать сопротивление шунтирования, а

отдаление от них – увеличивать. При рассмотрении шунтирования тока через три соседние единичные площадки примем сопротивление шунтирования равным 1/3 от сопротивления шунтирования через одну соседнюю единичную площадку.

Известно, что процесс соединения возможен, если суммарная передаваемая энергия  $U$  при ЭКП будет больше энергии активации  $E_a$  [7]:

$$E_a \leq U = U_d + U_T + U_M,$$

где  $E_a$  – энергия активации, Дж;  $U_d$  – энергия, образованная при пластической деформации, Дж;  $U_T$  – тепловая энергия, Дж;  $U_M$  – энергия упругого сжатия, Дж.

На каждом из рассмотренных участков зоны соединения будет выделяться теплота  $Q$ , пропорциональная сопротивлению этой зоны, для КТС и КСС при отсутствии шунтирования:

$$Q = 2Q_{эл} + Q_l + Q_{лд} + Q_d$$

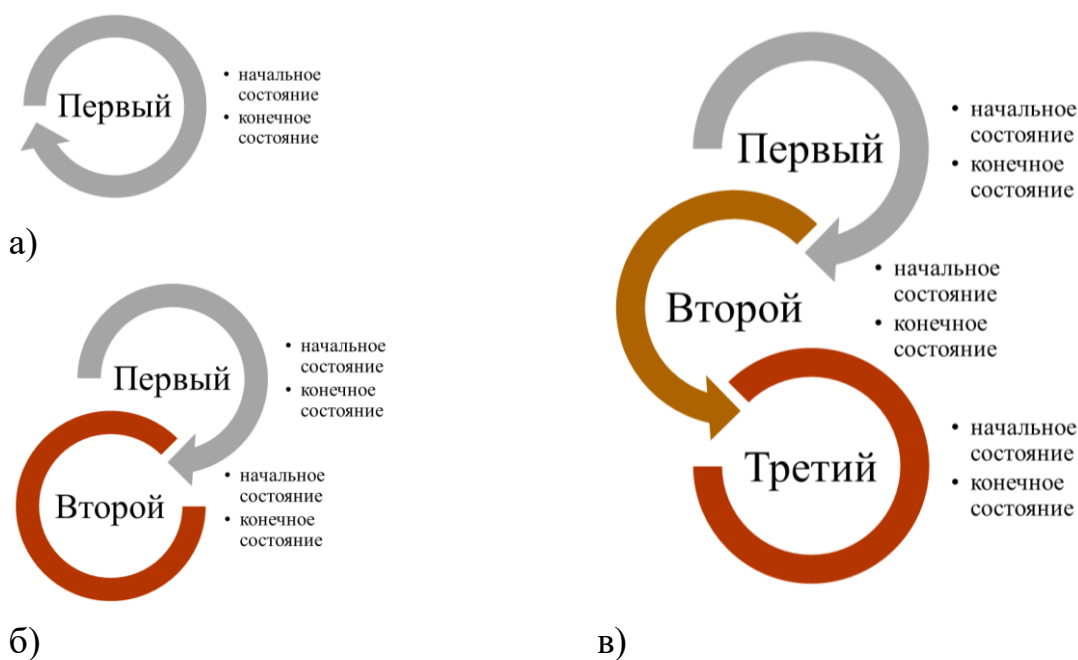
где  $Q_{эл}$ ,  $Q_l$ ,  $Q_{лд}$ ,  $Q_d$ , – теплота выделяемая на участке электрод–лента (деталь №1 – электрод и деталь №2 – электрод), в ленте (деталь №1), в зоне переходных сопротивлений лента (деталь №1) – деталь (деталь №2), в детали (деталь №2), Дж.

В случае шунтирования тока, например при КШС и проставлении близких точек при КТС, а также при сварке звеньев цепей КСС:

$$Q = 2Q_{эл} + Q_l + Q_{лд} + Q_d + Q_{ш}$$

где  $Q_{ш}$  – теплота выделяемая на шунте соответственно Дж.

Чем больше доля теплоты выделяемой в шунте, тем меньшая часть электроэнергии расходуемой сварочной машиной будет учувствовать в образование соединения в виде  $U_T$ , а при ЭКП сопротивление шунтирования в три раза меньше, чем при КШС.



**Рис. 1** Этапы и состояния при различных электроконтактных способах соединения металлических материалов:

### а) – КСС и КТС, б) КШС; в) ЭКП

Кроме того на величину переходных, а следовательно и суммарных сопротивлений влияет усилие сжатия сварочных электродов, при этом увеличение усилия на первом этапе понижает КПД использования электроэнергии и теплоты выделяющейся в зоне соединения, а на последующих этапах повышает.

Для компенсации потерь в результате шунтирования тока при переходе на следующий этап формирования соединения, рекомендовано увеличивать сварочный ток сначала после приварки первой точки, а затем после приварки первого ряда точек.

При ЭКП на вал диаметром 50 мм, при ширине наносимого покрытия 20 мм, продолжительность этапов составляет: 1/692 цикла для первого; 1/9,4 цикла для второго; 1-1/9,4-1/692 цикла для третьего. Соответственно, необходимо успеть осуществить описанные выше манипуляции, за сотые и тысячные доли секунды.

Аналогичного результата повышения КПД процесса ЭКП возможно добиться уменьшением времени протекания импульса на первых двух этапах с последующим его увеличением на третьем, но при изменении временных параметров процесса, необходимо изменить скорость приварки.

Поэтому оптимальным с точки зрения возможности и доступности стабилизации процесса при переходе с этапа на этап приварки является способ завышения усилия сжатия электродов, до оптимального на третьем этапе, что сильно завысит параметры процесса на первом, самом коротком этапе приварки. Лучшего результата с точки зрения обеспечения качества соединения (отсутствия выплесков) возможно добиться установив оптимальное усилие сжатия для второго переходного этапа в начале ЭПК, который будет завышать ток только для первого самого короткого этапа, а после перехода на третий этап повысить усилие сжатия. Кроме того увеличение усилия сжатия увеличит долю  $U_d$  и  $U_m$  в зоне соединения, но его чрезмерное повышение приведёт к рассеиванию теплоты в электродах и внутри источника тока машины.

### Библиографический список

1. Серов А.В., Серов Н.В., Бурак П.И. Функциональные покрытия // Электromеталлургия. 2020. № 11. С. 25–33.
2. Серов, А. В. Определение технологических параметров электроконтактной приварки при восстановлении и упрочнении плоских поверхностей / А. В. Серов, Н. В. Серов, П. И. Бурак // Вестник Федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования "Московский государственный агроинженерный университет имени В.П. Горячкина". – 2017. – № 1(77). – С. 35-40.
3. Latypov R.A., Serov A.V., Ignatkin I.Y., Serov N.V. Utilization of the Wastes of Mechanical Engineering and Metallurgy in the Process of Hardening and Restoration of Machine Parts. Part 2 // Metallurgist. 2021. V. 65. P. 689–695.

4. Technology of Hardening Plowshares by Electrocontact Welding Using Waste from Tool Production / R. Latypov, A. Serov, N. Serov, O. Chekha // Smart Innovation, Systems and Technologies. – 2022. – Vol. 247. – P. 197-203.

5. Утилизация отходов машиностроения и металлургии при упрочнении и восстановлении деталей машин. Часть 1 / Р. А. Латыпов, А. В. Серов, Н. В. Серов, И. Ю. Игнаткин // Металлург. – 2021. – № 5. – С. 81-87.

6. Серов, Н. В. Утилизация как метод упрочнения рабочих органов машин / Н. В. Серов, А. В. Серов // Международная научная конференция молодых учёных и специалистов, посвящённая 180-летию со дня рождения К.А. Тимирязева : Сборник статей, Москва, 05–07 июня 2023 года. – Москва: Российский государственный аграрный университет - МСХА им. К.А. Тимирязева, 2023. – С. 566-570.

7. Расчетно-экспериментальная оценка сопротивления зоны соединения при электроконтактной приварке с использованием промежуточного слоя / А. В. Серов, Р. А. Латыпов, Н. В. Серов, В. В. Чернов // Электрометаллургия. – 2024. – № 5. – С. 19-30.

УДК 621.793.79, 621.793.09

## **ВОССТАНОВЛЕНИЕ ПРИВАЛОЧНОЙ ПЛОСКОСТИ ДВИГАТЕЛЯ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ АВТОМОБИЛЯ КАМАЗ ХОЛОДНЫМ ГАЗОДИНАМИЧЕСКИМ НАПЫЛЕНИЕМ**

*Шихранов Никита Сергеевич, Магистр 2 года кафедры «Технологии обработки материалов», Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, nikitashikhranov@yandex.ru*

**Аннотация:** *проведён анализ дефектов характерных для привалочных плоскостей блоков цилиндров двигателей внутреннего сгорания КамАЗ, рассмотрена возможность применения холодного газодинамического напыления для их устранения, а также режимы последующей механической обработки обеспечивающие требуемую шероховатость и экономичность.*

**Ключевые слов:** *ХГДН, восстановление, обработка, шероховатость.*

Надёжность агрегатов сельскохозяйственных и грузовых машин, особенно в периоды сезонных работ ограниченных во времени? имеет критическое значение для продовольственной безопасности страны [1-2]. Ключевым агрегатом энергосредств, с.-х. и транспортных машин в настоящий момент является двигатель внутреннего сгорания. Надёжность агрегата в целом, а точнее вероятность отказа находится как произведение вероятности отказов всех его деталей. Блок цилиндров является основной базовой деталью двигателя внутреннего сгорания, от работоспособности которой зависит рассмотренный выше аспекты сельскохозяйственных работ. Лидирующей место на рынке машин различного назначения: транспортные, подъёмно-